

Simulazione CAD di operazioni di montaggio

Il processo di montaggio di un motore è molto articolato: analizzando tutte le operazioni con particolare attenzione alle macchine, alle attrezzature necessarie e ai tempi, l'obiettivo è di generare un'immagine 3D per ogni fase di lavoro, per ottenere maggiore chiarezza e conseguire una riduzione dei tempi



Il reparto assemblaggio motori di Piaggio & C. S.p.A, nella fase di industrializzazione del nuovo motore M648, ha proposto l'introduzione di un nuovo metodo per l'analisi delle fasi di montaggio e per lo studio delle attrezzature e delle macchine necessarie. Tale esigenza è nata in quanto la progettazione delle attrezzature, dei macchinari e della stessa linea di montaggio viene affidata a fornitori esterni.

Quali sono le problematiche legate all'aspettativa da parte dell'azienda committente? Alla riservatezza delle informazioni che devono essere fornite insieme all'ordine? E a eventuali ritardi in cui si può incorrere per incomprensioni fra le parti?

L'obiettivo dell'analisi è quello di migliorare il

ciclo di montaggio, generando un'immagine 3D per ogni fase di lavoro, mediante l'utilizzo di un software di modellazione CAD. In tal modo, puntando sulla chiarezza della documentazione da inviare nella fase di richiesta delle attrezzature, ci si attende di ridurre drasticamente i tempi d'attesa per le forniture. Attualmente la documentazione che Piaggio & C. S.p.A. invia ai fornitori si compone di: specifiche tecniche delle attrezzature, disegni 2D dei particolari del motore, alcune parti del ciclo di studio preliminare di montaggio. Si comprende che data la mancanza di un modello 3D dell'attrezzatura richiesta, si può incorrere in incomprensioni fra le parti interessate, con conseguente parziale o completa difformità della fornitura rispetto alle aspet-

tative dell'azienda committente. Sono state progettate e modellate (a livello di bozza) tutte le parti dell'attrezzatura e delle macchine necessarie sulla linea di montaggio. In questa fase si è prestata particolare attenzione agli ingombri e agli eventuali problemi di interferenza fra attrezzature e parti del motore. In seguito sono state assemblate tutte le parti create posizionando e riferendo i componenti del motore rispetto all'attrezzatura, per riprodurre in ambiente virtuale le varie fasi del montaggio.

Il CAD come supporto alla pianificazione e industrializzazione

Fino a pochi anni fa, non si disponeva di strumenti informatici tali da gestire modelli 3D in maniera facile e veloce direttamente su CAD. I metodi CAAP (Computer Aided Assembly Planning) risultano spesso laboriosi poiché necessitano dell'utilizzo di più software comunicanti fra loro, in ognuno dei quali vengono gestite separatamente le informazioni circa le geometrie, i vincoli e le posizioni delle varie parti da assemblare.

Fra i casi di maggior interesse se ne riportano alcuni di seguito. I vantaggi e gli svantaggi sono stati riassunti nella tabella di figura 2.

System I-Vapts. Questo metodo proposto e descritto in [2] si serve di tre ambienti sof-

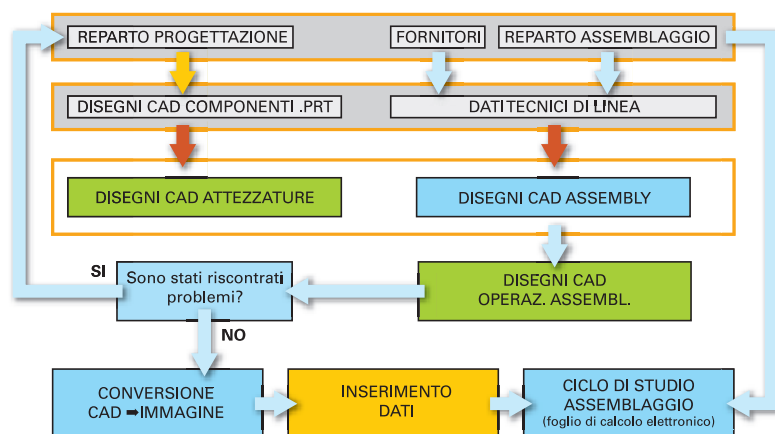
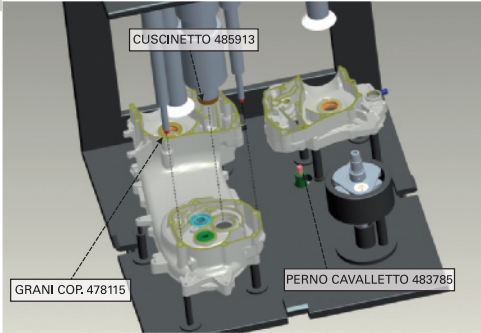


Figura 1 – Diagramma di flusso del metodo CAAP proposto



Fase di posizionamento dei semicarterm su pallet di linea

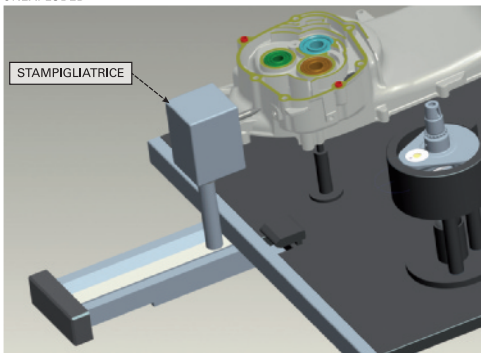
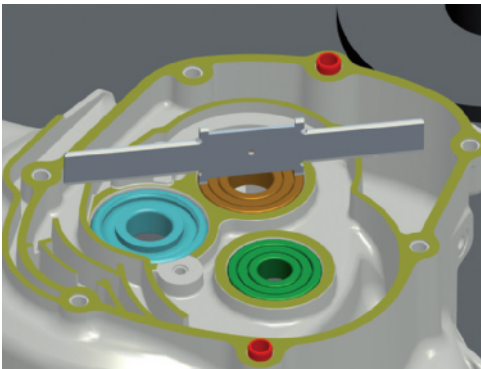


Figura 3 – Stazione di stampigliatura su semicarterm lato trasmissione e accanto il controllo della quota di piantaggio del cuscinetto albero rinvio, effettuato tramite calibro passa-non passa

ware in serie. Nel primo si modellano i componenti, gli utensili sul CAD (in questo caso è stato usato Solidworks), inserendo tutte le relazioni di vincolo fra le parti e di posizione. Nella seconda fase, i modelli CAD vengono importati in ambiente virtuale dove gli oggetti sono rappresentati attraverso una serie di semplici poligoni. Nella fase finale si acquisisce il video di simulazione delle fasi di montaggio, trasferendo il file dall'ambiente virtuale all'ambiente Assembly Floor. Tale metodologia oltre a essere particolarmente

METODI CAAP	STRUMENTI SOFTWARE	VANTAGGI	SVANTAGGI
SYSTEM I-VAPTS	CAD Solidworks VR (Virtual Environment) AF (Assembly Floor)	L'output è un video clip che mostra le varie fasi di montaggio	Difficoltà nella conversione dei file CAD nei vari formati (VR e AF) Perdita di alcune informazioni nella conversione (colori, vincoli, ...) Impossibilità di individuare le collisioni fra le parti
WORKSPACE	Workspace CAD (Solidworks o Pro/Engineer)	L'output è un video Facile acquisizione da CAD	Creazione della movimentazione delle parti laboriosa Difficoltà di gestire file molto pesanti Perdita di alcune informazioni nell'importazione in workspace
VIRTUAL PROCESS WEEK	UBM interfaccia CAD Catia 4D Navigator PSN	Concurrent Engineering	Tempi lunghi per la preparazione dei modelli e dei dati Elevato numero di software da gestire contemporaneamente
METODO SVILUPPATO	CAD Pro/Engineer Microsoft Power Point Microsoft Excel	Facile reperimento dei software Non si ha perdita di informazione nella trasformazione da CAD a immagine Piena capacità di utilizzo degli strumenti di Pro/Engineer (Collision detection, Mass properties, Distance analysis ecc.) L'output può essere video o immagine Basso tempo modellazione	Dispendio di tempo per la preparazione dei modelli e dei dati (circa 600 h) Maggiore responsabilizzazione degli addetti del montaggio nella fase di richiesta delle attrezzature ai fornitori

Figura 2 – Tabella di confronto fra vari metodi CAAP

lunga, presenta diverse difficoltà: nella trasformazione dei file CAD in file leggibili in VR (Virtual Reality) si perdono le informazioni relative ai colori degli oggetti, ad alcuni vincoli, quote, posizioni e orientamenti fra le parti.

Virtual Process Week. Questo metodo CAAP è stato presentato dalla divisione sperimentale sul veicolo di BMW in [5]. Anche in questo caso le parti vengono modellate su CAD (Catia di Dassault Systemes) e, a supporto di questo è stata utilizzata un'interfaccia UBM per descrivere le fasi del processo di montaggio, il sistema PSN (Product Structure Navigator) che consente di visualizzare la lista ad albero dei componenti che si vuole visualizzare. I file 3D vengono convertiti nel formato .stl in cui le superfici sono composte da triangoli. Questo per alleggerire file composti da innumerevoli quantità di modelli. Tutto il processo di preparazione dei file costa a livello di tempi circa 1.200 ore.

Workspace. Questo software prodotto dalla Wat Solutions consente di simulare il processo di montaggio generando un videoclip per ogni stazione di montaggio.

Il metodo sviluppato e il lavoro svolto

Il metodo proposto e utilizzato per la creazione dei modelli 3D delle fasi di montaggio del nuovo motore Piaggio M648 è stato schematizzato nel diagramma in figura 1. Gli strumenti informatici che sono stati uti-

lizzati sono: un software CAD [3] per la modellazione dei componenti e delle attrezzature, un software di scrittura per riportare il codice di ogni particolare e per numerare le operazioni, un foglio elettronico di calcolo per la compilazione del ciclo di montaggio. Attualmente all'interno della Direzione Motori di Piaggio & C. S.p.A, sia la progettazione che le tecnologie utilizzano il software di modellazione CAD suddetto, e solo in occasione del presente lavoro il reparto assemblaggio è stato dotato di questo strumento. Di seguito si riportano gli step seguiti per compilare il ciclo di montaggio del motore M648, corredato con le immagini 3D delle fasi di lavoro.

1. Acquisizione dei modelli CAD 3D dei componenti del motore da assemblare. Il CAD è connesso a un database attraverso una rete intranet, in modo che ogni utente autorizzato possa accedere ai file .prt (parti) e .asm (assiemi) creati dal reparto progettazione.
2. Studio preliminare e modellazione CAD delle attrezzature necessarie in linea di montaggio. Nella fase di dimensionamento delle attrezzature bisogna fare riferimento all'ingombro dei componenti da assemblare e ai vincoli presenti.
3. Creazione di un file .asm per ogni fase del ciclo di montaggio, dove sono stati rappresentati i componenti del motore e le attrezzature che vengono utilizzate. In

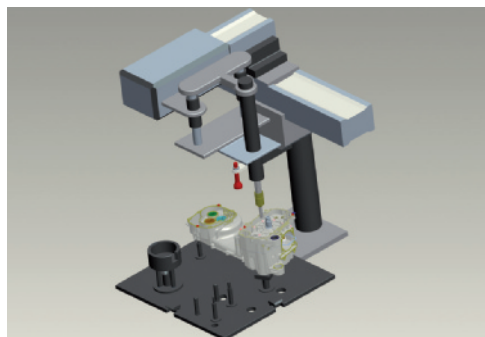


Figura 5 – Stazione automatica di avvitatura delle viti, nella fase di accoppiamento dei due carter, e accanto il serraggio della vite di fermo del cuscinetto, eseguito con avvitatore ad angolo

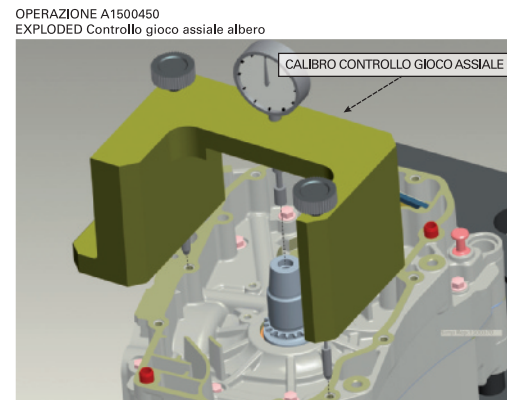
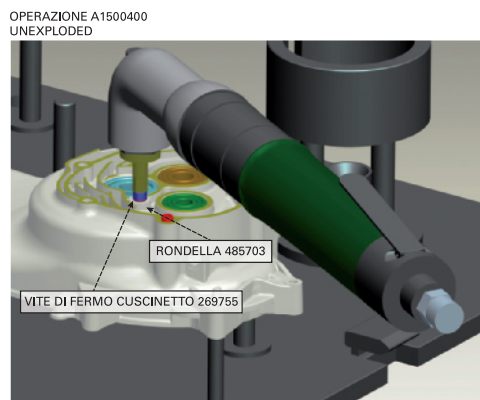


Figura 6 – Controllo del gioco assiale dell'albero motore mediante comparatore

tal modo a ogni file è associato il codice di riferimento della task, e si rende indipendente la modellazione di una fase rispetto alla successiva. I dati relativi ai vincoli e alle quote di montaggio sono stati reperiti dal disegno del complessivo 2D del motore. Lo strumento View Manager [3] consente di creare una vista esplosa e una inesplosa dei componenti da montare in ogni operazione.

4. Le due viste 3D create vengono acquisite e salvate come immagine.
5. Le immagini vengono importate nel software di scrittura e arricchite con le informazioni relative al codice della fase di lavoro e dei componenti da montare. Per ogni fase di montaggio, si acquisiscono le due immagini (in vista esplosa e inesplosa).
6. Si compila il ciclo di montaggio sul foglio elettronico definendo il codice dell'operazione, la sua descrizione, il codice dei disegni 3D, i tempi per ogni task, le attrezzature necessarie e il preventivo di spesa per il loro acquisto (figura 7). Per inserire e associare le immagini precedentemente create alle corrispondenti fasi del ciclo di montaggio, si utilizzano dei commenti interattivi, inseriti nelle apposite celle. In tal modo basta spostare il cursore sulla cella dell'operazione di interesse, per visualizzare l'immagine 3D della fase di montaggio nella vista esplosa e inesplosa.
7. Il videoclip del montaggio è stato genera-

to servendosi dell'applicazione Animation [3]. A tal fine è stato necessario acquisire tutta la sequenza di immagini e di posizioni per ricreare punto punto la traiettoria, che i componenti da assemblare devono percorrere.

Il metodo proposto presenta numerosi vantaggi. Si nota, infatti, che non sono stati utilizzati ambienti virtuali aggiuntivi in cui trasferire i file creati, ma l'intero lavoro è stato svolto su CAD. Inoltre sono facilmente visualizzabili i problemi di ingombro e interferenza fra attrezzature e componenti da montare.

La modellazione delle fasi di montaggio

Il metodo descritto è stato applicato alla linea di montaggio del nuovo motore Piaggio M648. In particolare sono state modellate tutte le fasi di montaggio relative alla linea 1 di accoppiamento dei semicarter e al sottogruppo di montaggio del coperchio trasmissione completo.

Tra le attrezzature che sono state modellate: il pallet di linea, gli avvitatori automatici a pistola e ad angolo, le quattro celle di piantaggio, i calibri passa-non passa per il controllo delle quote di piantaggio, la cella di avvitatura automatica, il comparatore per il controllo del gioco assiale dell'albero motore, la cella di stampigliatura, le spine di centraggio, il dispositivo di piantaggio del sottogruppo coperchio trasmissione, le pinze per il montaggio

dell'anello seeger, il banco di lavoro. Delle 80 fasi modellate si riportano le più significative in figura 3, 4, 5 e 6. Il pallet di linea, visibile in figura 3, sostiene il semicarter lato volano e quello lato trasmissione, e l'albero motore. Ogni semicarter viene riferito con due sostegni di centraggio e due sostegni di appoggio. Questi punti sui semicarter sono stati scelti in modo da assicurare una sufficiente stabilità al pezzo nelle varie fasi di montaggio, e in modo da evitare possibili interferenze fra i pezzi e le attrezzature.

Alcuni componenti vengono piantati dal basso e il pallet è stato opportunamente forato per consentire la salita dei punzoni di piantaggio.

I risultati ottenuti e le conclusioni

Il ciclo di montaggio, mostrato in figura 7, è stato ottimizzato associando le immagini 3D create (in vista esplosa e inesplosa) alle corrispondenti operazioni di montaggio. Questo documento ha portato numerosi vantaggi:

1. La modellazione delle attrezzature e delle fasi di montaggio semplifica e migliora la comunicazione fra Piaggio & C. S.p.A. e i fornitori, con conseguente riduzione dei tempi d'attesa per l'attrezzaggio.
2. Le immagini e i videoclip delle fasi di montaggio generati possono essere utilizzati per addestrare il personale sulla linea di montaggio.

PIAGGIO			MANUFACTURING/MTA # MONT. MOT.	CICLO DI STUDIO	Compilato: Daniele Urso / Conti Paolo	Visto	Data: 18/06/09	Exp.: 1
			Mod. 999 Tuning Nuovi	Veicolo: Motore 4T 350 c.c.	Gruppo: MOTORE - M648	Componente	Prod. prev. 45330 met./anno	
COD.OP.	DISEGNO COMPONENTI	DIS. ASSEMBL.	DESCRIZIONE OPERAZIONE			Tempo Ciclo (TC)	OP	Q.ta Pz.
		Sc. Espl. n.	Sc. Inespl. n.				PREVENTIVO SPESE	
		A1500240_3	A1500240_4				Macchine - Attrezzature - Calibri	Q.ta
		A1500240_5	A1500240_6					
		A1500240_7	A1500240_8					
		A1500240_9	A1500240_10					
1500250		A1500250_1	A1500250_2	ESEGUIRE CON ATTREZZO L. CONTROLLO DEI FORI DELLE BRONZINE (DA ESEGUIRE SU TUTTI I MOTORI DI BAA)			0,02	
1500260				ESEGUIRE 1 PUNTO DI VERIFICA SUL MOTORE (DA ESEGUIRE SU TUTTI I MOTORI DI BAA)			0,01	
1500270				VERIFICARE POSIZIONE BRONZINE			0,04	
1500290				INORASSARE CON PENNELLO I SEMICUSCETTI SU SEMICARRIER L.V. E L.T.			0,06	
1500290	MOLLA 425655 VALVOLA 425661	A1500290e	A1500290u	PRENDERE N.1 MOLLA E MONTARE SU VALVOLA REGOLAZIONE PRESSIONE OLIO, POSIZIONARE IL GRUPPO SUL CARTER			0,14	2
1500300	SUPPORTO 877394	A1500300e	A1500300u	PRENDERE SUPPORTO A LAMELLE E MONTARE SU SLT			0,10	1
1500310	GUARNIZIONE 878671	A1500310e	A1500310u				0,08	1
1500320		A1500320e	A1500320u				0,06	
1500330		A1500330e	A1500330u				0,10	
1500340		A1500340e	A1500340u				0,16	
1500350		A1500350e	A1500350u				0,04	
1500360	UTR 432142	A1500360e	A1500360u				0,48	12
1500370	FILTRO ASP. 877822	A1500370e	A1500370u				0,02	1
1500380	LAMIERINO 877823	A1500380e	A1500380u				0,12	1
1500390	TAPPI CONICI 411331	A1500390e	A1500390u				0,50	3
1500400	TAPPO SCAR. 289755 #FONDELLA 435703	A1500400e	A1500400u				0,18	2
1500410	TAPPO LV. 419150384 #FONDELLA 873805	A1500410e	A1500410u				0,18	2
1500420		A1500420e	A1500420u				0,12	
1500430							0,12	
1500440				PRENDERE VERSALE DA PALETT DI LINEA, CONTROLLARE CORRESPONDENZA N. VERSALE MOTORE CON N. ST. ABBINATO. INFERIRE INFECA E POSIZIONARE SUL MOTO			0,15	

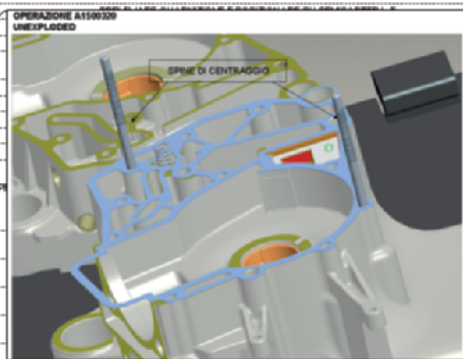


Figura 7 – Ciclo di montaggio ottimizzato

3. Piaggio & C. S.p.A. ha avvertito l'esigenza di riutilizzare il metodo proposto per valutare le modifiche da apportare alle attrezzature esistenti in vista dello sviluppo di una nuova gamma di motori, da produrre in India. Si può, dunque, affermare che il lavoro svolto sul motore M648 si configura come un progetto 'pilota' per l'applicazione del metodo proposto alla futura produzione.

4. L'assemblaggio dei componenti e la modellazione delle attrezzature è servita da design review del progetto. In particolare il modello 3D del motore M648 è stato modificato per soddisfare specifiche esigenze del montaggio.

5. Il ciclo di montaggio ottimizzato può essere utilizzato dal reparto analisi tempi per studiare lo stationamento di linea. Esso costituisce, dunque, un documento definitivo, utile a descrivere il ciclo di fabbricazione del motore M648.

Ringraziamenti

Lavoro svolto come tesi di laurea specialistica in ingegneria meccanica di Daniele Urso presso il reparto montaggio motori della società Piaggio & C. S.p.A. di Pontedera (PI), diretto dal sig. Domenico Bartoli, con la supervisione del Responsabile delle tecnologie ing. Daniele Landini² e del prof. ing. Michele Lanzetta¹.

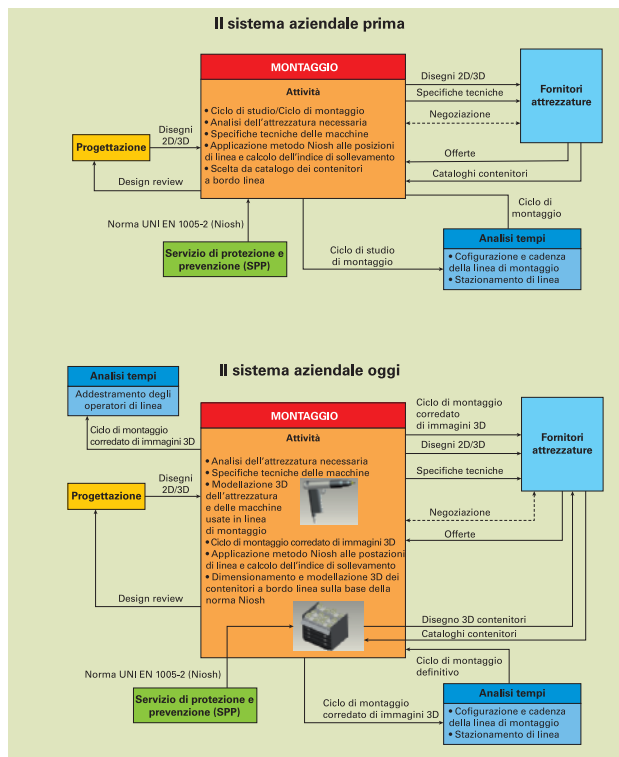
Questo progetto non sarebbe stato possibile senza il supporto del Direttore del Manufacturing Carlo Coppola e del sig. Raffaello Fontanini.

¹ Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione, Università di Pisa

² Piaggio & C. S.p.A, Pontedera (PI)

Bibliografia

- [1] A. Armitlotta, G. Moroni (Elsevier 2005), Computer Aided assembly planning for the die making industry. Politecnico di Milano, Milano (Italy)
- [2] J.S.Liu, Y.X. Yao, P.J. Xia, J.G. Li (Springer-Verlag London 2005), A pragmatic system to support interactive assembly planning and training in an immersive virtual environment(I-VAPTS). School of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin (China)
- [3] Parametric Technology Corporation (2006), Pro-engineer
- [4] W.C.Regli V.A. Cicirello (Elsevier 1999), Managing digital libraries for computer aided design. Drexel University, Philadelphia (USA)
- [5] R. Grandl (Pergamon 2001), Virtual process week in the experimental vehicle build at BMW AG. Experimental Vehicle Division BMW, Munich (Germany)
- [6] S. Gebus, K. Leiviska (Elsevier 2009), Knowledge acquisition for decision support system on electronic assembly line. University of Oulu, Oulu (Finland)



© RIPRODUZIONE RISERVATA

Figura 8 – Diagramma di confronto fra il sistema aziendale prima e dopo l'introduzione del metodo sviluppato